



In der Rubrik [FORSCHUNG.KOMPAKT] stellen wir aktuelle Forschungsergebnisse übersichtlich und frei zugänglich dar, die eine wissenschaftliche Begutachtung (»Peer Review«) durchlaufen haben. Die Originalfassung dieses Artikels wurde veröffentlicht unter M. Heinrich, M. Zipf, M. Uecker, S. Ochs, M. Gontscharow, T. Fleck, J. Doll, P. Schörner, C. Hubschneider, M. R. Zofka, A. Viehl und J. M. Zöllner, "CoCar NextGen: a Multi-Purpose Platform for Connected Autonomous Driving Research," 2024 IEEE 27st IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Edmonton, Canada, 2024, und kann unter der nebenstehenden Adresse abgerufen werden.



<https://arxiv.org/abs/2404.17550>



[TECHNIK.CHECK & FORSCHUNG.KOMPAKT]

Sven Ochs, Marc Heinrich, Marc René Zofka, J. Marius Zöllner

CoCar NextGen: Wegweisende Forschungsplattform für das automatisierte und vernetzte Fahren



Das Testen in der realen Welt ist von entscheidender Bedeutung für den Erfolg des automatisierten Fahrens. Während viele Akteure in der Branche eigens für Testzwecke Fahrzeuge entwerfen, hat das FZI eine modulare Plattform entwickelt, die höchste Flexibilität für jegliche Szenarien bietet. CoCar NextGen ist mit Hardware der nächsten Generation ausgestattet, die alle zukünftigen Anwendungsfälle berücksichtigt. Seine umfangreiche, redundante Ausstattung ermöglicht unter anderem die Forschung zum Transfer von KI zwischen Sensorsetups. Zusammen mit der Möglichkeit, auf öffentlichen Straßen eingesetzt zu werden, entsteht so eine einzigartige Forschungsplattform, die den Weg zum automatisierten und vernetzen Fahren auf SAE Level 5 ebnet.

Während große Automobilhersteller über die Ressourcen verfügen, mehrere Testflotten für verschiedene Anwendungsbereiche zu betreiben, nutzt das FZI als unabhängige Forschungseinrichtung ein einzelnes Versuchsfahrzeug, um ein breites Spektrum an Forschungsszenarien abzudecken. Deshalb wurde ein Fahrzeug konzipiert, das maximale Flexibilität bietet. Der Fokus lag dabei auf modu-

laren und standardisierten Schnittstellen. Zu den Anwendungsfällen, die berücksichtigt wurden, gehören unter anderem: Aufzeichnung von Daten aus der realen Welt, Closed-Loop-Tests von Software für automatisiertes Fahren, die Interaktion mit vernetzter intelligenter Verkehrsinfrastruktur und Studien zu Akzeptanz und Nutzererfahrung.



(a) Sichtfeld der Kameras

(b) Verbauposition der Sensoren

(c) kombiniertes Sichtfeld LiDAR und Radar

Abb. 1: CoCar NextGen verfügt über drei Sensormodalitäten: Kamera (orange), LiDAR (türkis, blau und gelb) sowie Radar (grün). Im linken Bild sind die Sichtkegel der Kameras dargestellt. Rechts sind die Sichtkegel der LiDAR und Radar Sensoren visualisiert. Die Sensoren auf dem Dach (gelb und blau) haben jeweils einen 360°-Sichtbereich.

Die Vielfalt der Anwendungsfälle erfordert eine umfangreiche Hardwareausstattung. Das Fahrzeug ist daher als flexible Plattform für verschiedenste Fragestellungen zukünftiger Forschung zu verstehen. Darüber hinaus ermöglicht der umfassende Aufbau eine einzigartige Möglichkeit zur Untersuchung multimodaler Sensorsetups.

Als Forschungseinrichtung erstreckt sich die Arbeit des FZI auf das gesamte Spektrum der Teilsysteme des autonomen Fahrens, einschließlich Lokalisierung, Umgebungswahrnehmung, Prädiktion von Verkehrsteilnehmern, Vernetzung, Entscheidungsfindung und Regelung. Zudem spielen Querschnittsthemen wie Absicherung, Validierung und Verifikation, Simulation und KI eine wesentliche Rolle. Aus diesem Grund hat das FZI eine große Bandbreite an Anwendungsfällen für dieses Forschungsfahrzeug abzudecken.



Automatisierte Testfahrzeuge bilden eine wichtige Brücke zwischen theoretischer Entwicklung und praktischer Anwendung und bieten eine kontrollierte Umgebung, in der autonome Fahrsysteme rigoros bewertet, verfeinert und validiert werden können.«

Die Anwendungsfälle umfassen Aufzeichnungen von Sensordaten, Open-Loop-Tests einzelner Softwarekomponenten und Closed-Loop-Tests von Funktionen unserer Software. Zusätzlich wird kooperatives Fahren mit anderen intelligenten Verkehrsteilnehmern und der smarten Verkehrsinfrastruktur erforscht. Des Weiteren muss die Qualität der Sensoren genügen, um als Referenz für andere Systeme zu dienen. Die Fahrszenarien reichen von dicht besiedelten städtischen Umgebungen über Landstraßen bis hin zu Autobahnfahrten mit hohen Geschwindigkeiten. Darüber hinaus sind auch Anwendungen wie das Parken in Parkhäusern von Bedeutung. Diese Umgebungen erfordern eine vielseitige Sensorausstattung, die sich sowohl durch ihre Reichweite als

auch durch den Umgang mit toten Winkeln und Verdeckungen auszeichnen. Außerdem muss sich das Fahrzeug selbst ohne Satelliten-Signalabdeckung orten können. Das FZI strebt an, diese Szenarien unter allen Umgebungsbedingungen, einschließlich Regen, Nebel und bei Nacht, durchzuführen.

CoCar NextGen wird nicht nur für Sensoraufzeichnungen, sondern auch für die Erprobung und Auswertung für automatisiertes Fahren im öffentlichen Straßenverkehr genutzt. Zu diesem Zweck ist es mit einem Drive-by-Wire-System ausgestattet. Zur Gewährleistung der Sicherheit und Einhaltung der straßenzulassungsrechtlichen Vorgaben ist das Lenksystem mit einer magnetischen Kupplung ausgestattet, die ein Drehmoment von 11 Nm aufbringt. Die Betätigung der Pedale erfolgt über mechanische Aktuatoren, wodurch eine manuelle Übersteuerung jederzeit möglich bleibt. Zusätzlich ermöglicht das System die Steuerung sekundärer Fahrzeugfunktionen wie Blinker, Scheinwerfer, Hupe, Scheibenwischer und Getriebe über den CAN-Bus. Die Regelung des Gesamtsystems erfolgt über eine echtzeitfähige, eingebettete Recheneinheit, die mit dem Drive-by-Wire-System über den CAN-Bus verbunden ist. Das System verfügt über eine Zulassung, die den Einsatz für autonome Erprobungsfahrten im öffentlichen Straßenverkehr in Deutschland erlaubt.

Die von uns eingesetzte Software umfasst sowohl Hochleistungsanwendungen als auch Algorithmen für maschinelles Lernen, (vgl. Ochs u. a., 2024). Außerdem besteht der Software-Stack des FZI aus modularen Paketen, die leicht ausgetauscht werden können. Daher wird eine flexible und leistungsstarke Compute-Plattform benötigt, die in der Lage ist, die eingehenden Sensordaten zu verarbeiten. Der Entwicklungs- und Deploymentprozess zielt auf agile Entwicklungszyklen ab. Oftmals werden Verbesserungen an der Software direkt im Fahrzeug implementiert. Daher sind Komfort, Benutzerfreund-

→ Kontakt

FZI Forschungszentrum
Informatik

Haid-und-Neu-Str. 10-14
76131 Karlsruhe

Tel: +49 721 9654-366

Mail: zofka@fzi.de

Web: www.fzi.de



lichkeit und Zugänglichkeit wichtig. Der Schlüssel-faktor ist eine einfach zu bedienende Schnittstelle zur Compute-Plattform und somit für Diagnose des Software-Stacks. Das Ziel war es, ein Fahrzeug zu entwerfen, das alle gegenwärtigen und zukünftigen Forschungsanforderungen so weit wie möglich ab-deckt. Daher sollte das Fahrzeug modular aufgebaut sein, so dass zukünftige Hardware leicht hinzuge-fügt oder aufgerüstet werden kann.

Als Basisfahrzeug wurde ein Audi A6 Plug-In Hybrid gewählt. Es ermöglicht mit seinen mehr als 50 km elektrischer Reichweite emissionsarme Einsätze. Der Audi Avant bietet zudem genug Stauraum für die zusätzlichen Rechnerkomponenten. Der Hochleis-tungsrechner besteht aus Komponenten aus dem Desktop- und Serverbereich, womit ebenfalls auf Modularität und schneller Integrationsfähigkeit ge-setzt wird. Die CPU-Einheiten verfügen über ins-gesamt 64 Kerne, die für verschiedene Berechnun-gegen genutzt werden können. Zur Ausführung von KI-Algorithmen stehen zudem drei leistungsfähige Grafikkarten zur Verfügung, die eine effiziente Ver-arbeitung großer Datenmengen ermöglichen.

Um das Sensorsetup für das Fahrzeug zu ent-wickeln, wurde besonderer Wert darauf gelegt, für jede Sensormodalität eine möglichst umfassende Rund-umsicht der Fahrzeugumgebung zu realisieren. Die Sichtfelder der einzelnen Sensoren sind in Abb. 1a und Abb. 1c zu sehen. Die unterschiedlichen Moda-litäten ergänzen sich dabei hinsichtlich ihrer indi-viduellen Stärken. Während LiDAR eine direkte und präzise dreidimensionale Darstellung von Objekten ermöglicht, liefern Kamerabilder semantische Infor-mationen sowie eine sehr hohe Auflösung. Radar hingegen erweist sich insbesondere unter schwierigen Umweltbedingungen, wie beispielsweise bei Nebel oder starkem Regen, als äußerst robust. Insgesamt umfasst das Sensorsetup folgende Sensoren:

- 6** ✕ 4D-LiDAR-Scanner (türkis)
- 4** ✕ 360°-LiDAR (blau)
- 2** ✕ Long-Range-360°-LiDAR (gelb)
- 9** ✕ Full-HD-Camera (orange)
- 3** ✕ 4D-Radar (grün)
- 1** ✕ Hochgenaues GNSS-System
- 1** ✕ V2X Onboard Unit mit 5G-Schnittstelle

Abb. 1b zeigt die Anordnung der Sensoren. Der Groß-teil der Sensoren wurde in eine Dachstruktur inte-griert, um eine größtmögliche Flexibilität bei Inte-gration zusätzlicher Sensoren oder Sensorupdates zu gewährleisten.

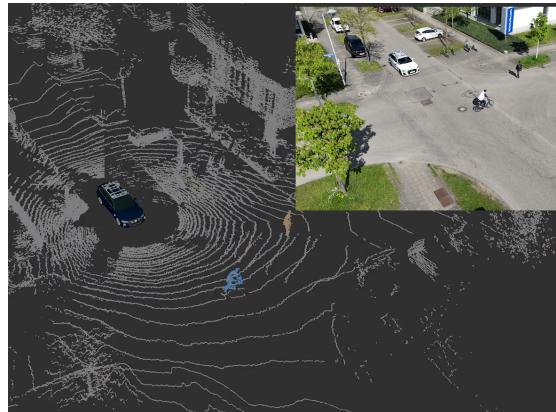


Abb. 2: Verbesserte Umfeldwahrnehmung durch die neue Messtechnik der 4D-LiDAR-Scanner. Sie bieten nicht nur eine 3D-Rekonstruktion der Umwelt, sondern auch Geschwindigkeitsinformation von dyna-mischen Objekten.

Ein besonders bemerkenswerter Fortschritt in der Sensortechnologie sind die neuartigen 4D-LiDAR-Sensoren. Diese ermöglichen durch die direkte Mes-sung der Radialgeschwindigkeit eine präzisere und umfassendere Erfassung der Umgebung. Beispieldaten der entsprechenden Sensoren sind in Abb. 2 dargestellt. Die zugrundeliegende Technologie ba-siert auf Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW). Im Gegensatz zu herkömmlichen Impuls-LiDAR-Sensoren, die mit einzelnen Pulsen bei ei-ner bestimmten Frequenz arbeiten, durchläuft ein FMCW-LiDAR während der Abtastung ein vollständi-ges Frequenzband. Diese Eigenschaft ermöglicht es, für jeden Messpunkt eine direkte Geschwindigkeits-abschätzung vorzunehmen. Insbesondere in kom-plexen, unübersichtlichen Szenarien erlaubt diese zusätzliche Dimension eine verbesserte Extraktion und Unterscheidung dynamischer Objekte, was die Umgebungswahrnehmung erheblich optimiert.

→ 4D-LiDAR-Systeme

senden ein Signal aus, dessen Frequenz sich ständig ändert. Wird das Signal von einem Objekt reflektiert, entsteht beim Vergleich des empfangenen Signals mit dem ausgesendeten eine Frequenzdifferenz aufgrund des Doppler-Effekts. Diese Differenz verrät, zusätzlich zur Entfernung, wie schnell das Objekt ist.

Das Sensorsetup enthält auch externe Kommunika-tionskanäle, sodass Informationen mit intelligenter Verkehrsinfrastruktur ausgetauscht werden können (Vehicle-to-X, V2X). Derartige Vekehrsinfrastruktur findet sich unter anderem im Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg (TAF-BW)¹. Das TAF-

¹ taf-bw.de



Abb. 3: CoCar NextGen im Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg (TAF-BW).

BW wurde als praxisnahes Labor für zukünftige Mobilitätskonzepte ins Leben gerufen und wird seit 2016 kontinuierlich weiterentwickelt. Die Kreuzungen im TAF-BW sind mit modernster V2X-Hardware und Sensorik ausgerüstet. Durch den Einsatz von V2X wird ein Echtzeit-Austausch von Informationen zwischen Fahrzeugen, aber auch mit intelligenter Verkehrsinfrastruktur ermöglicht.

MAP-Nachrichten (MAPEM) und Signal-Phase-and-Timing Nachrichten (SPaTEM) werden eingesetzt, um Informationen über Kreuzungen und Ampelanlagen zu empfangen. MAPEM enthalten hierbei Informationen über die Topologie der Kreuzung und bieten die Assoziationsmöglichkeit von Ampel zu Fahrspuren. Über die Zuordnung und die SPaTEM-Nachrichten kann ein vorausschauendes Fahren umgesetzt werden. Intelligente Verkehrsinfrastruktur kann nicht nur die Ampelzustände als Informationsquelle bereitstellen. Erfasste Hindernisse und Verkehrsteilnehmer können über Collective Perception Messages (CPM) bidirektional zwischen dem Software-Stack und der intelligenten Verkehrsinfrastruktur ausgetauscht werden, um das Umgebungsmodell beider Systeme zu erweitern.

CoCarNextGen wird bereits aktiv in vielen öffentlich geförderten Projekten für automatisiertes Fahren eingesetzt. Im Rahmen des Projekts MAD-Urban

wird das Fahrzeug auf dem Joint-Research-Center in Ispra, Italien seine Fähigkeiten unter Beweis stellen. Der Schwerpunkt in MAD-Urban liegt auf dem Austausch von Information zwischen Verkehrsinfrastruktur und automatisierten Fahrzeugen. Darüber hinaus untersucht das Projekt C2CBridge die Kommunikation zwischen mehreren automatisierten Fahrzeugen, zu denen auch CoCar NextGen gehört. Das FZI plant außerdem, einen annotierten Datensatz mit allen verfügbaren Sensoren bereitzustellen. Ein annotierter Ampeldatensatz ist bereits öffentlich verfügbar und in Polley u. a., 2025 veröffentlicht. ■

Literaturverweise

- Ochs, Sven u. a. (2024). *One Stack to Rule them All: To Drive Automated Vehicles, and Reach for the 4th level.* URL: <https://arxiv.org/abs/2404.02645>.
- Polley, Rupert u. a. (2025). *The ATLAS of Traffic Lights.* URL: <https://url.fzi.de/atlas>.